

土石流の検知警報システムに関する研究

橋口 孝行* 疋田 誠**

Research on Detection and Alarm System of Debris Flows

Takayuki HASHIGUCHI and Makoto HIKIDA

Debris flows were observed by using a new system of ground tremor sensor in the Nojiri River of Mt. Sakurajima, Volcano, Japan. In general, going away from valley, ground tremor by debris flow will become small and this phenomenon seems to be different from volcanic activity. To examine the phenomenon of debris flow, we carried out the outdoor experiments in the campus, and replicated the surging out of debris in an active volcano. The spectrum of ground tremor observed in the outdoor experiments is very similar to the spectrum observed in debris flows in the active volcano. We confirmed that the magnitude of discharge has a tendency to be in proportion to the size of ground tremor.

We could find that observed frequency of ground tremor distinguishes between debris flow from clear water flow. The value of frequency is from 50 Hz to 100 Hz for debris flow and less than 50 Hz for clear flow. Out trigger system of detecting the volcanic debris flow is available to detect the occurrence of land-slide, snow avalanche and so on.

Key words: alarm system, detection of debris flow, disaster prevention, ground tremor

1. まえがき

桜島をシンボルとする鹿児島県では、台風や集中豪雨の時期になると、多くの土砂災害が頻発し、尊い人命が失われ、多大な社会的損失が発生している。土石流警報のあり方には色々な問題点が指摘されている。例えば、気象台や県の提供する雨量情報のみでは土石流に対する住民避難に間にあわず、各種災害情報がうまく伝達されないこと、人為的ミス等の防災システム自体にも欠陥が散見されること、電話回線が錯綜し、各家庭の電話が利用不可になる状況の発生などである。本研究は、これらの諸問題に対して、避難情報を1つ(従来:雨量)から3つ(①雨量, ②監視カメラ, ③振動センサー)へ増やすように改善し、また情報を危険地域住民に早く伝えるために現在普及率の高いパソコン、携帯電話を用い、災害を最小限に食い止め、住民に安心してもらえるような土石流検知警報システムを開発し、模索するものである。

*専攻科 土木工学専攻

**土木工学科

2. 土石流の概要

2. 1 土石流の定義

土石流、落石などが挙げられる。これらの現象を整理すると、斜面崩壊(落下により移動)、地すべり(滑動)、土石流(流動)に区別される。これら土砂災害を引き起こす原因としては、堆灰、降雨、融雪等がある。土砂災害が発生すると周辺の住民、施設等に対し、多大な人的・物的被害をもたらす。

1) 斜面崩壊・地すべり

斜面崩壊とは、がけ崩れ、山崩れ、人工斜面の崩壊などの総称である。崩壊は、地すべりと比べると規模が小さく、急傾斜地において突発的に発生し、移動速度が速い。斜面崩壊の発生に係る要因としては、雨量、斜面の勾配、斜面形、地質条件等がある。

地すべりは斜面崩壊よりも一般的に大規模で継続的なもので、比較的緩勾配でも発生し、多大な被害をもたらす危険性がある。誘因としては地下水の影響が大きく、台風、梅雨の他、融雪時にも発生する。

例1. 始良ニュータウンの斜面崩壊(1993年8月)

例2. 鹿児島市内の団地の崖くずれ(1993年8月)



写真-1. 斜面崩壊・崖崩れ（鹿児島市小山田）

2) 土石流

土石流は、土砂や岩石が水と混合し液体となっており、溪床など地形の低所に沿って流下するもので、豪雨、地震等による崩壊土砂の流下、溪流をせき止めていた崩壊物の再崩壊による流下、洪水流による溪床堆積土砂の流下、地すべり土塊の流下等のケースがある。豪雨による土石流は、先頭に岩塊や樹木の集中する盛り上がりを持ち、後方に細粒物質と洪水流が続く。土石流の速度は速いもので時速 60 km 近くにもなり、斜面崩壊等に比べ移動距離が長い。

例 1. 桜島の火山性土石流

例 2. 国道 10 号沿いの土石流（1993 年 8 月）

例 3. 出水の土石流（1997 年 7 月）



写真-2. 竜ヶ水の土石流災害（1993.8.6）

2. 2 鹿児島県の気象台による土石流警報の現状

鹿児島県では土砂災害発生予測情報システムを構築した。これは、鹿児島地方気象台や鹿児島県の雨量情報を利用して、土砂災害の発生予測を行うものである。

1) 現在、日豊本線は雨が降る度に列車が不通になることが多い。

雨量情報のみによる避難警報を過大視しているとの指摘が多い。

2) 水俣の土石流（2003 年 7 月）では、雨量情報伝達の人為的ミスが発生している。

3) 土石流発生・不発生に対する危険指標の設定は、学術的にみても十分でなく、問題がある。

4) 土石流発生時に対して、住民避難に間に合わない可能性が高い。

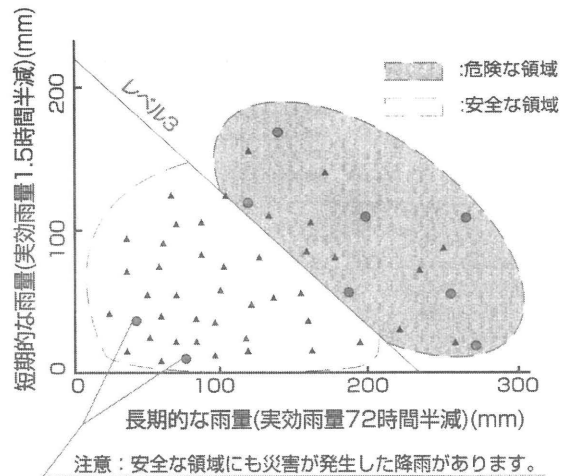


図-1. 鹿児島県土木部資料：鹿児島県土砂災害発生予測情報システム

図-1のグラフを見ると、危険な領域で土石流は多く発生している。しかし、安全な領域でも土石流が発生する恐れがあることが分かる。これから、雨量情報のみによる土石流の発生予測は不確実であると言える。したがって、避難情報を1つ（従来：雨量）から3つ（①雨量、②監視カメラ、③振動センサー）へ増やし、避難警報が危険地域住民に早期に伝達されるように改善することにより、災害を最小限に食い止め、住民に安心してもらえるような土石流検知警報システムの開発に焦点が絞られてくる。

2. 3 土石流の検知センサーの比較

現在土石流を検知できるセンサーとして様々なものがある。これらのセンサーには様々な得失がある。これらの長短所を調べ、比較することにより、今研究で用いる土石流検知センサーとしてどのセンサーが実用的か吟味検討した。

①ワイヤーセンサー

長所：価格が非常に安い。

短所：小規模な土石流は検知できず、土石流は、第1波、第2波、第3波と連続で発生する。この方法では、第2波、以降の検知が出来ず、土石流の規模の大小判別が出来ない。その上、無人化できず、維持管理費に多額の費用が掛かる。

②音響センサー

長所：価格が比較的安い。

短所：設置場所の構造物等で影響を受けやすく、雨や風などの音で誤動作する欠点がある。

③超音波センサー

長所：固定河床である流路工等であれば、安定した流量測定ができる。

短所：土石流の発生する上流の山地溪流では河床が上昇・下降し、精度が大きく低下し、土石流の衝撃力の大小が判別できない。

④光センサー

長所：固定河床である流路工等であれば、安定した流量測定ができる。

短所：人・動物・倒木等で誤動作する。また、火山灰や微細砂・チリ等で光の透過度が減少し、降雨時に誤動作が発生する。

⑤振動センサー

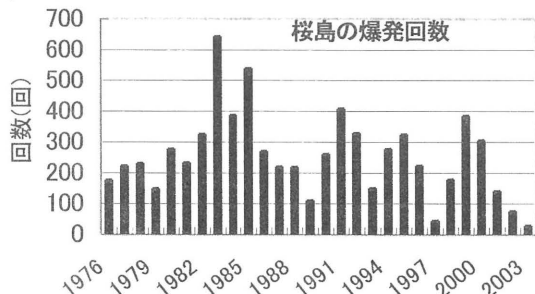
長所：山地溪流や土砂崩れ現場での検知センサーとして最適である。また、農作物盗難対策、イノシシ等の被害にも有効である。

短所：火山活動や地殻変動による地震、自動車や人の移動による地盤振動などがあり、誤動作の原因になる。
(注、量産すれば低価格化が可能)

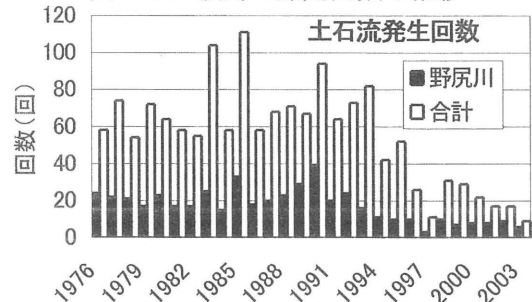
振動センサーは、現在、野尻川で使用されている地震計センサーの監視装置と、試験的に購入した安価なセンサーを使用することにした。振動センサー（高感度加速度計：TEAC-710Z、圧電型加速度計：TEAC-708LF）による土石流観測の原理は流路工に加わる土石流の衝撃力を加速度として計測する方法によるもので、高感度地震計と同じものを使用する。これにより土石流によって発生する微動振動をとらえ、その信号をセンサアンプで増大させ、遠隔地にあるデータ収集装置へ転送し、複数回発生し通過する土石流を監視することを可能にした。

2. 4 桜島の火山活動の現況

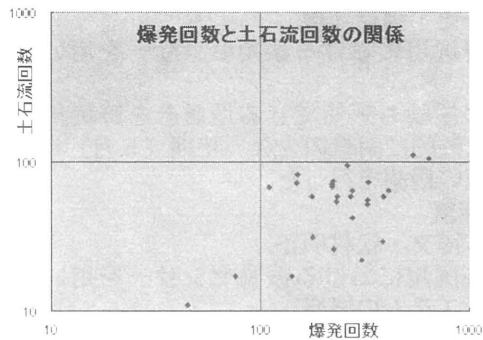
桜島は1957年以降継続して火山活動を続けている。火口から噴出される火山灰は、山頂付近に堆積し、降雨を引き金として土石流が数多く発生して、地域住民に多大な被害をあたえている。土石流は少量の降雨においても発生しやすく、活発な時は、野尻川で年間15～20回、全島でも年間約70回と日常化している。この土砂災害を防止するために様々な対策がとられてきているが、災害発生に関する要因は非常に複雑で、火山の活動状況に伴う火山噴火の土砂生産量に左右される。土石流発生は豪雨と降下火山灰にみまわれ、観測状況は劣悪であるために困難である。桜島では火山性地震が群発するなど、火山活動が活発化することが多く、それに伴い発生する土石流にも細心の注意が必要である。



図－2．桜島の爆発回数の推移



図－3．桜島の土石流の推移



図－4．爆発回数と土石流回数の相関図

図－4は横軸に爆発回数、縦軸に土石流の発生回数を示している。爆発回数が400～600回の時に土石流が多発している。爆発回数が多いときには土石流回数は多く、爆発回数が少ない時には土石流回数も少ないことが分かる。しかし、比例関係になっているのだが傾きがずれていることが分かる。このずれは、土石流の発生原因が爆発だけではなく、降雨量や降灰量も影響しているからだと考えられる。

2. 5 土石流研究の経緯

従来、土石流検知システムとしては、流路工を直接横断するワイヤーや光センサー、間接的にとらえる音響センサーが用いられてきた。本研究は、1979年からの鹿児島県の協力を得て、桜島の北側に位置する長谷川の土石流をワイヤーセンサーによる土石流検知線の切断及びビデオカメラによる土石流映像の記録の集積を行ってきた。1994年度、長谷川の堤防に振動センサーを埋め込み、大規模な土石流であればうまく作動することを確認した。また、トリガユニットやビデオデッキの故障が続く、機器の改良を行ってきた。桜島の火山活動中の南岳に近い野尻川に振動センサーを埋め込み改良型の観測システムを設置し、DAT装置のデータとして確実に入手することが可能になった。

①1991年度

中原嘉久・下尾崎隆博

地震計による土石流監視システムの開発

自動車通行による地盤振動の応答解析を行った。問題として、深い所に地震計を設置すると地盤振動に対する信号の減衰が大きく、ノイズと車両による振動が同設定の値となり、トリガユニットの設定が難しい。

②1992年度

藤田悦郎・山智弘

地震計による土石流観測システムの設置について土石流と地盤振動の応答特性を調べる事により、土石流、火砕流の発生・流動過程、発生規模を推定するために長谷川に地震計を設置した。

③1993年度

川崎康智

桜島における地震計を用いた土石流監視システムの開発

長谷川よりも土石流が頻繁に発生し、規模の大きい野尻川に地震計を設置した。

④1994 年度

福重祐史・福島隆博

桜島野尻川における振動センサーを用いた土石流観測

微弱な振動も感知できる地震計を野尻川に設置した。比較的雨量の少ない時期（5月）に発生した土石流の観測を行った。

⑤1995 年度

深野木博文・松村明正

桜島野尻川における振動センサーを用いた土石流監視システムの開発

右岸堤防上で自転車を走らせた場合、震動センサー付近で礫を落下させた場合、自然の状態での火山性微動の場合の震動センサーの模擬実験を行った。

⑥1996 年度

堂森亮・前村洋作

地盤振動による土石流計測システムの開発

地盤の微弱震動をとらえる新しいシステムを採用し成功した。

⑦1997 年度

築瀬純矢

地盤振動による土石流計測システムの開発

震動データの解析を行った。

⑧1998 年度

前村武生

土石流モデルによる地盤振動のニューラルネットワークモデルの検討

地盤振動データとニューラルネットワークを用いた土石流のハイドログラフの推定法について水理学的考察を行った。

⑨1999 年度

大園一磨・福満陽平

土石流による地盤振動の伝搬に関するシミュレーション実験

野尻川に設置した土石流の振動データの解析をした際、 x 、 y 、 z の各方向成分に一貫性がなく解析が困難であったため土石流による地盤振動に関するシミュレーション実験が行った。

⑩2000 年度

平岡旭洋・今釜洋明

土石流による地盤振動の伝搬に関するシミュレーション実験

地盤震動をシミュレートする実験装置を用いて、 x 、 y 、 z の方向のそれぞれの震動について、解析ソフト（DADisp）を用いて解析を行った。

⑪2001 年度

前園英俊・満塩健太

土石流による地盤振動の伝搬に関するシミュレーション実験（流路工の河床条件の影響）

解析ソフト（Flex Pro）を用いて、地盤振動データの解析を行った。

⑫2003 年度

水流彰太郎・徳田浩史

溪谷河川における土石流のシミュレーション実験

溪谷河川を水理実験室の横に作成し、地盤振動データの解析を行った。

⑬2003 年度

橋口孝行・八反田周吾

土石流検知警報システムの開発

監視カメラによる画像のモニタリングと土石流による地盤振動データのモニタリングを行った。

3. 土石流の検知センサーの検証

3. 1 実験の概要

土石流検知警報システムの開発というテーマで行われている本研究において、ひとつの大きな課題となるのが、土石流を的確に検知するために、どの土石流検知センサーをどの位置に設置すればよいかということである。この章では、それを明らかにするために土石流検知センサーの選択から実験、また、その比較検討を行った。

3. 2 土石流検知センサーの選択

実用的で普及しやすいセンサーとして、①音響センサー、②超高感度の3軸加速度計、③高感度の1軸加速度計、④ジオフォン(Geophone)の4種類を検討した。まず、①音響センサーは、信号ケーブルが複雑(5芯)で延長が容易でなく除外した。②超高感度の3軸加速度計は高価であり、普及面に難点がある。また、超高感度であるため、今研究で行ったような規模の小さい場所ではノイズが入り良いデータが得られなかったため除外した。そこで、比較的安価な③1軸加速度計と④ジオフォンの比較検討を進めた。

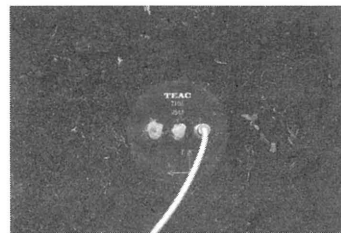


写真-4. 3軸加速度計

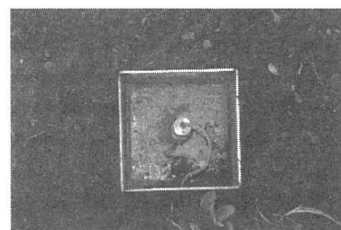


写真-5. 1軸加速度計



写真-6. Geophone

3. 3 土石流による地盤振動の再現

土石流の発生・通過を再現する方法として、実際の土石流の振動周波数に近く、土石流通過現象も表すことができるパイプロプレート（走行速度 25～27m/min, 振動周波数 91.7Hz）を用いることにした。パイプロプレートで、平坦な地面を高速と低速で走行さ

せることにより、地盤振動を移動方向に与えて行き、擬似的に土石流の通過による地盤振動を再現させるものである。ただし、振動センサーの設置に関してパイプロプレートの進行方向をX軸とし、直角方向をY軸とする。



写真-7. パイプロプレート

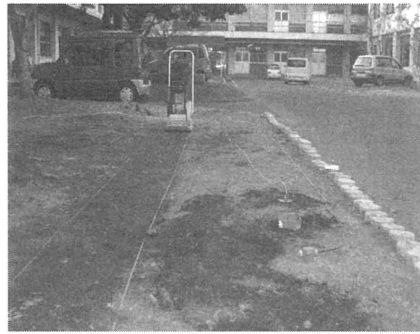


写真-8. 実験風景

3. 4 土石流検知センサーの実験結果と比較

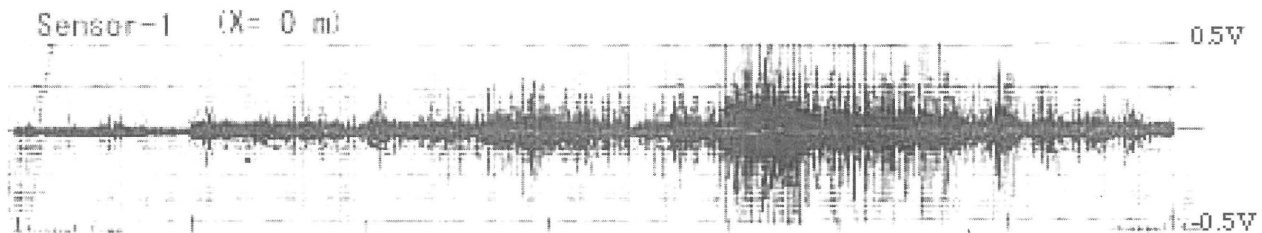


図-5. 土石流通過時の地盤振動の時間的推移 (野尻川, 1997.9.16)

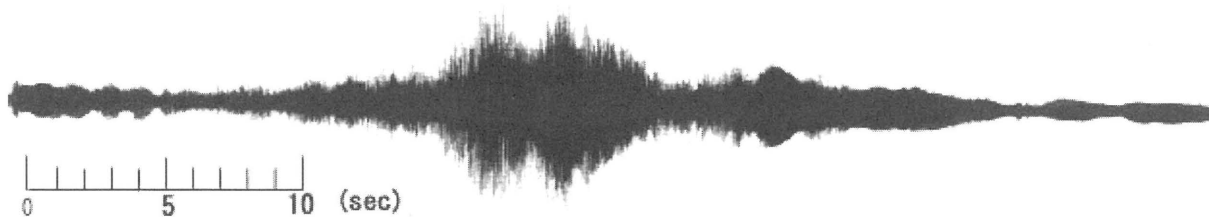


図-6. パイプロプレート通過時の地盤振動の時間的推移 (3軸加速度計)

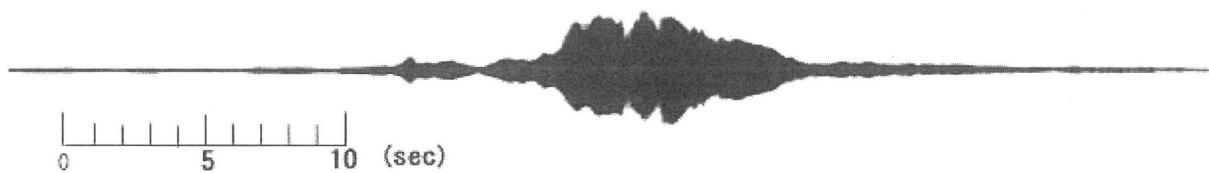


図-7. パイプロプレート通過時の地盤振動の時間的推移 (1軸加速度計)



図-8. パイプロプレート通過時の地盤振動の時間的推移 (Geophone)

実験で得られた波形を見ると、パイプロプレートが振動計に近づくにつれてだんだん波形が大きくなり、振動計の横を通過したと思われるときピークが表れていることが分かる。この波形のあらわれかたは、実際の土石流の波形と擬似している。したがって、今回の実験は、土石流の発生・通過を再現する方法として良好である。

また、図-7の1軸加速度計の実験波形を見てみると、ピークが2つでていることが分かる。これは、走行場所が平坦ではなかったため、凹凸部分で振動の減衰が生じてしまったためだと思われる。今後の課題として、運動場のような広い平坦な場所での実験を行い、凹凸な場所との波形の比較も吟味検討したい。

3.5 地盤振動の動的表示について

図-9, 10は、振動センサーに有線で接続された検知装置と監視装置（パソコン端末）の間を無線 LAN で接続し、パイプロプレートの走行実験による地盤振動をオンライン表示させたものである。Visual Basic でグラフ化しているが、縦軸に地盤振動の大きさ振幅 (V) と周波数 (Hz) を4秒おきに受信している。また、このグラフは Visual Basic でグラフ化しているため縦軸の振幅 (V)、周波数 (Hz)、横軸の時間の値を容易に変えることが可能である。振幅は、センサーの微動振動により発生した加速度を変換したもの、振動周波数は、電圧変動に対しての1秒間の分割数である。

下のグラフは、パイプロプレート走行実験時の周波数と電圧をプロットしグラフ化したものである。

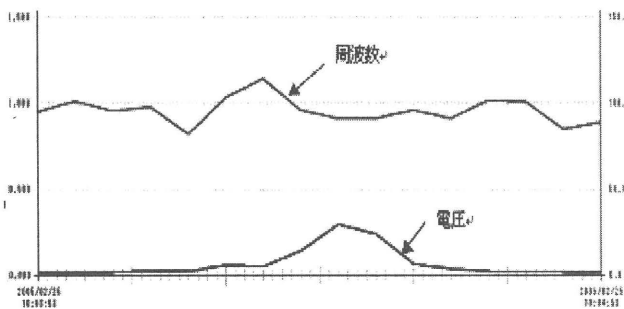


図-9. 地盤振動の監視プログラムの実行例

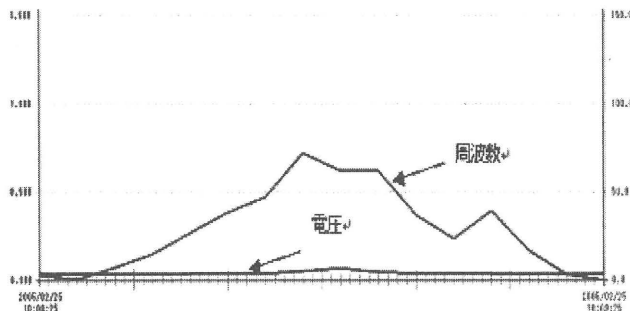


図-10. 地盤振動の監視プログラム実行例

グラフから言えることは、それぞれの振動センサーの検知することのできる項目についての向き・不向きがあることが分かった。Geophone と1軸加速度計の表示結果を比較すると、周波数と電圧のデータの現れ方が全くちがう。Geophone においては、ある程度の周波数のピークが現れているが、電圧に大きな変化はみられなかった。これは、Geophone が加速度計ではなく速度計だということが原因の一つだと考えられる。相対して、1軸加速度計は電圧のピークが現れ変化があるが、周波数に変化はあるのだが好ましいデータを得ることができていない。1軸加速度計に関しては、周波数が0にならないのは、1軸加速度計特有の特性が原因だと考えられる。

つまり、土石流の周波数の測定においては Geophone、電圧の測定においては1軸加速度計を用いることが有効だと考えられる。

3.6 Geophone と1軸加速度計の相関図について

図-11のグラフは、縦軸に Geophone の電圧 (mV) 横軸に1軸加速度計 (gal) を表示したものである。このグラフよりセンサーの特徴を解析した。

どの条件のデータも、比例関係になった。1軸加速度計の値が大きくなれば Geophone の値も大きくなるのだが、2つのまとまったグラフを比較すると縦軸の値にずれが生じている。これより、Geophone の感度は不安定といえる。高速と低速では、データに大きなばらつきが見られなかった。これより、土石流の通過スピードに関係なく土石流検知センサーは電圧を測定できるといえる。

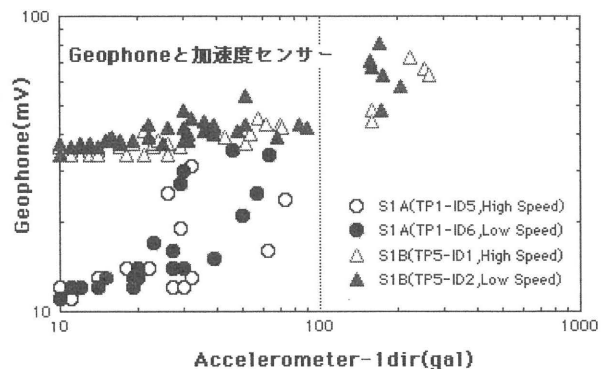


図-11. Geophone と1軸加速度計の関係

4. 土石流の警報システムの構築

4.1 警報システムの概要

図-12は、土石流検知警報のシステム構成図である。土石流の発生が予想される危険渓流地域に土石流検知用の地盤振動ロボットを2つ設置。IT 技術を導入し、無線 LAN をシステムに組み込み、データを収集する。更に、中継所を経て、携帯電話等を使用し、土石流の災害状況（兆候）を早期に危険渓流地域に住む住民へ伝達、被害を最小限に食い止める。

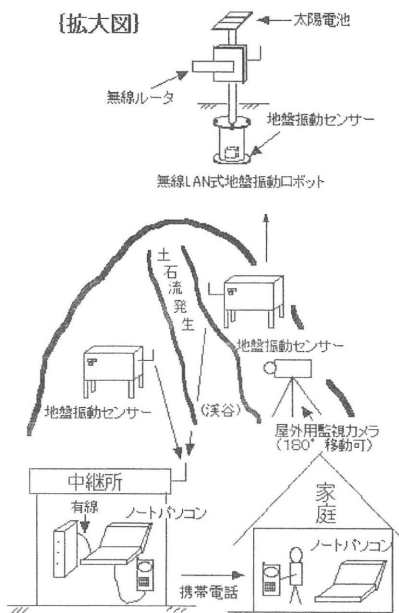


図-12. システム構成図

4. 2 土石流警報システムの特徴

本システムは、山地溪谷の地区公民館等が自主防災組織で導入可能なシステムであり、

- ①開始直後から監視用の雨量計（雨量情報）
- ②降雨開始直後から土石流監視カメラ（映像情報）：KX-HCM170
- ③緊急避難警告用の振動センサー（地盤振動情報）

これらの複合情報を無線LAN及び携帯電話を用いて情報伝達させる。例えば、竜ヶ水や出水市針原川のようなケースに対応する土石流災害監視システムとして、降雨と振動センサーを用いて、地盤の挙動・兆候を検知、確実な地盤振動情報、つまり土砂災害に対する最も危険度の高い高品質の避難情報が入手可能となる。従来の雨量情報のみでは住民避難の判断に迷うケースが多発し、防災体制の大きな問題になっている。

危険渓流地域に土石流検知警報の地盤振動ロボットを、例えば5台設置する。その結果、土石流がどこで発生するか分からない問題を解消できる。即ち、土石流によって、検知装置（1カ所）が流失しても、他の4つの検知装置で補完できる。このようなシステムであれば下流の住民に確実な警戒避難警報を流すことが出来る。

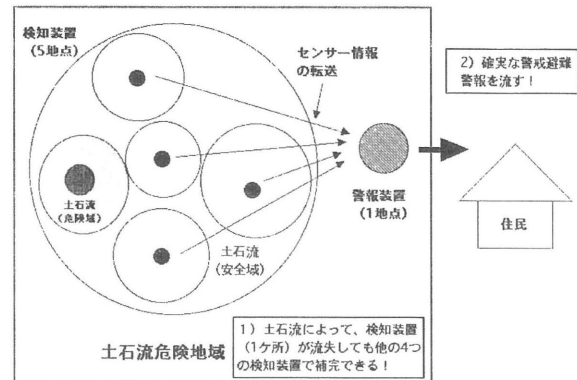


図-13. 警報システムの考え方

4. 3 警報システムにおけるネットワークの概要

1) 監視カメラセンサーからの画像収集

図-14はデータ通信の概要図を示している。ネットワークカメラを用いると、パソコンからカメラのアドレスにアクセスすることで、簡単に画像を見ることが出来る。パソコンからカメラを直接コントロールし、上下・右左に首振り操作することもできる。本製品は、パソコンだけでなく携帯電話からもカメラコントロールを、直接行えるようにしている。写真-9は、土石流実験の様子を監視用のネットワークカメラで撮影している様子である。写真-10は、その画像情報を無線LANで経由し、パソコンでモニタリングしている映像である。この原理を利用すれば、土石流発生時の様子を早期に土石流危険地域の住民に知らせることが可能である。

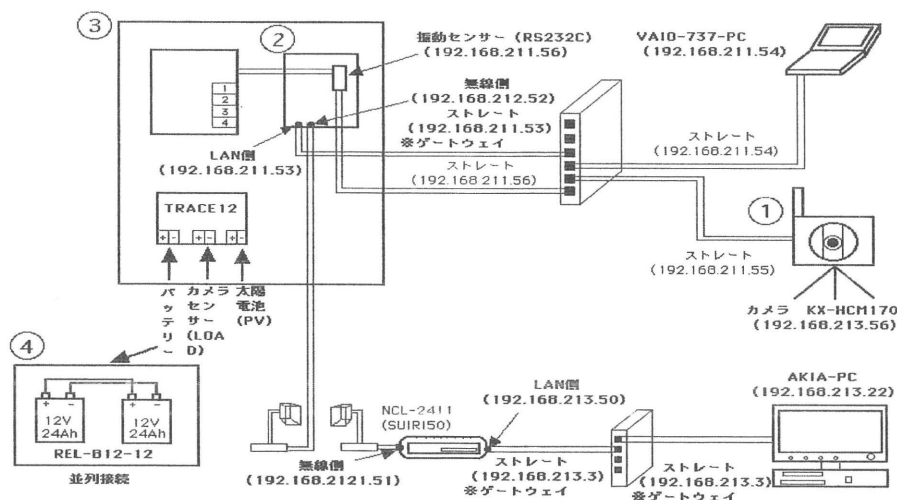


図-14. データ通信の概要図

2) 通信実験

渓谷河川における土石流のシミュレーション実験と通信実験

土石流の検知については、高専の屋外キャンパスに砂防河川のモデルとなる渓谷斜面を作成し、石を転動させ、シミュレーション実験を行う。即ち、地盤振動は振動センサーにて土石の流下の様子を感知検出させ、

データレコーダに取り込み、解析ソフト（FLEX PRO等）を用い、信号分析する。これらの動作確認は有線で行う。その後、屋外用監視カメラもセンサーの一つとして組み込み、無線 LAN と携帯電話回線による画像データ及び土石流による地盤振動データの通信試験を行う。



写真-9. 監視カメラの設置



写真-11. 渓谷河川（水理実験室）

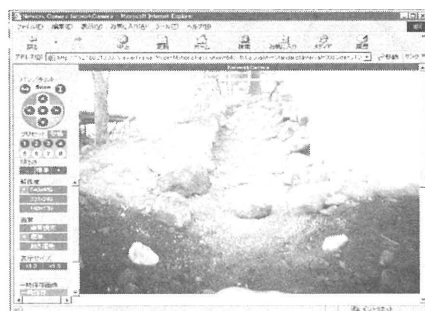


写真-10. パソコンでのモニタリング

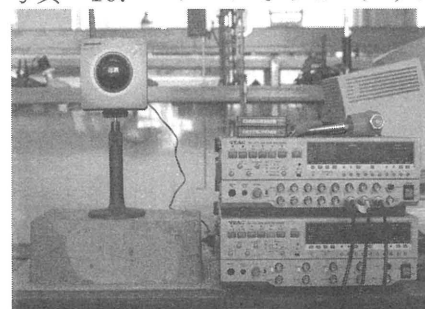


写真-12. データレコーダ
右上：型式 RD-130TE DAT
右下：型式 RD-120T PCM

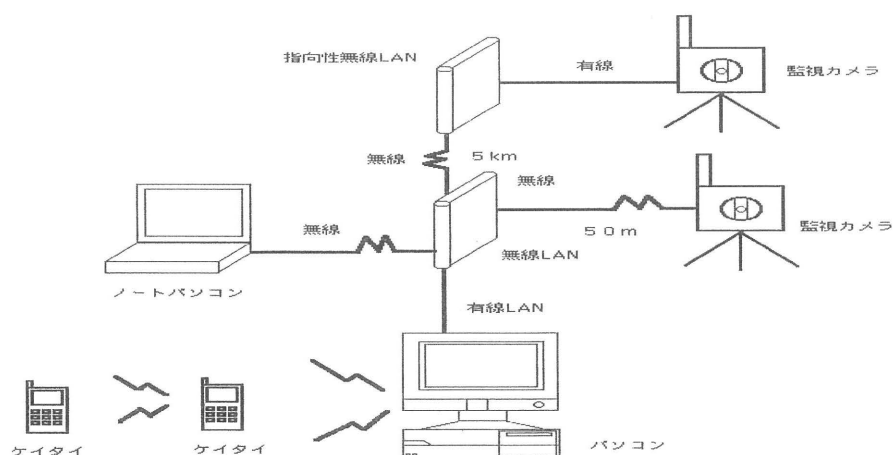


図-15. 通信実験回路図

5. 土石流の地盤振動の検証

図-16 は、1997 年 9 月 16 日に発生した桜島野尻川における土石流の地盤振動の時系列データである。Sensor-1 と Sensor-2 は流れ方向（X 軸）に 100m 離れている。データは合計 7 個（A～G）のデータとして区分され、概ね 10 分間毎の連続記録である。これらのデータは膨大であるので、データにソーティング

（3 万個のデータを大きい順に並べ、1/10 個を抽出し、移動平均値を求める）をかける。その後、時系列データとして、3 秒間隔に、振動レベル S と振動周波数 f を表示している。

図から、土石流発生状態では、振動周波数 f が 50～100Hz を維持している様子が理解できる。A

時刻(4:17～), B時刻(6:56～), C時刻(8:49～), E時刻(9:09～)と, 次第に, 土石流の規模が大きくなっていく様子を知ることができる. また, A時刻での流れの大部分は, 振動周波数が50Hz以下で, 土砂濃度の低い水流と推定できる. 更に, Sensor-1とSensor-2の間の距離(100m)をピーク間の時間差58秒で割ると, 流速は1.7 m/s程度であったと推定でき, 大規模土石流の前兆現象として捉えることも可能であり, 興味深い. また, 一つのデータだ

けではなく他のデータ(図-17)でも電圧と周波数の検証を行った. すると, この土石流のデータの場合も土石流発生状態では, 周波数が50~100以内にあることが分かった. また, グラフより電圧で規模もおおよそ予測できることも分かる. この2つの土石流のデータより, 振動センサーは土石流が発生したか否かを予測することができ, また, 規模も推定できることから実用性が高いことが分かる.

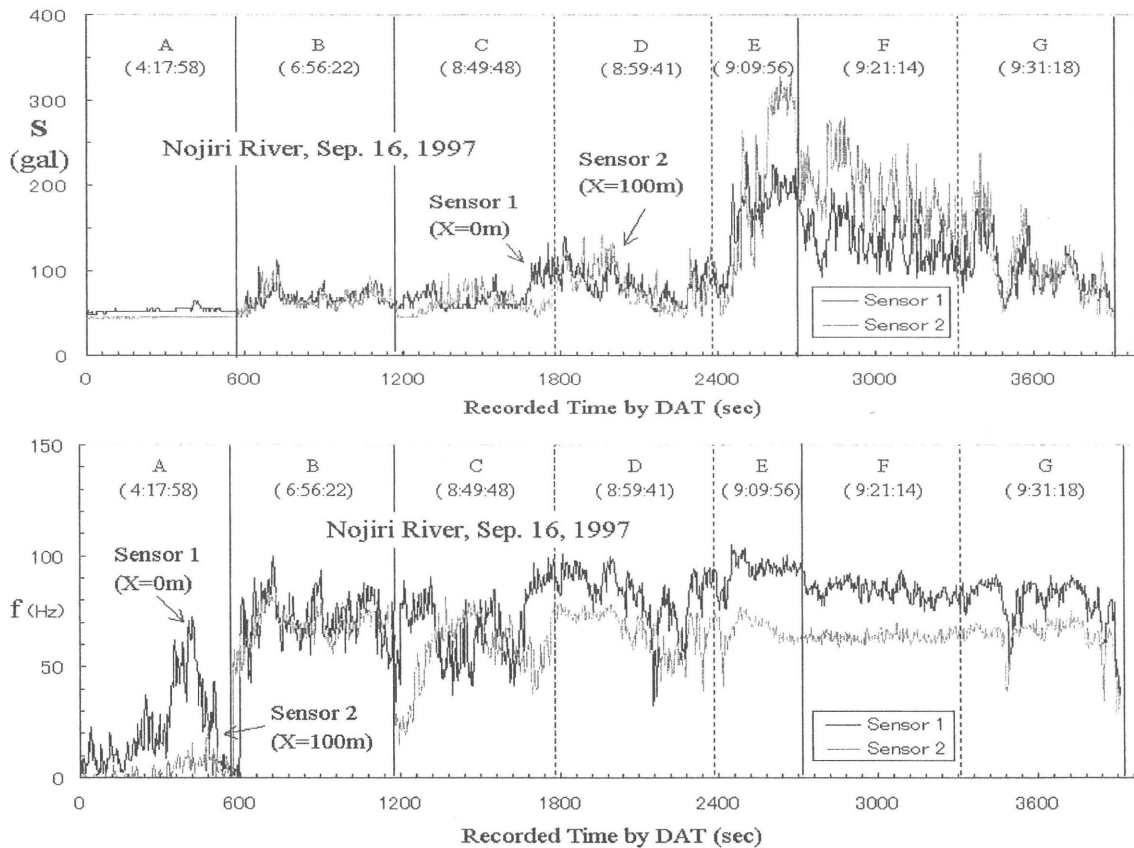


図-16. 土石流通過時の地盤振動の大きさ S と振動周波数 f (桜島・野尻川, 1997. 9. 16)

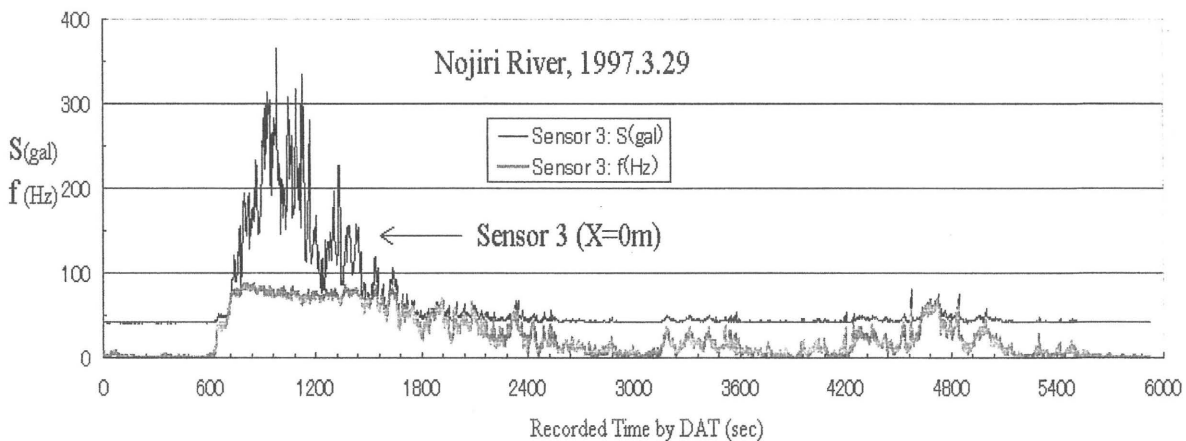


図-17. 土石流による地盤振動レベルと振動周波数 (桜島・野尻川, 1997. 3. 29)

6. まとめ

本研究で、土石流検知警報システムの構想と監視カメラによるデータ通信実験結果および土石流による地盤振動データのモニタリングの手法を示した。その結果、災害地域に住む住民は、自主防災の視点から安心のもてるシステムを構築することが可能となった。地盤振動現象に着目すると、発生した土石流の確認、土石流の規模や移動速度を推定できることが判明した。これら土石流による振動データは、無線LAN及び携帯電話による通信回線を利用すると、転送可能である。

今後の課題として、桜島野尻川上流部に本システムを設置する予定である。土石流を確実に捕捉するためには、現状の試作品に改良を加え、更に、実用性について十分検証することが必要と考えている。

謝辞：

本研究をすすめるに際して、本校の前田滋校長、内田一平助教授、蒲田清孝講師、榎並利征技術員、及び卒業研究生であった水流彰太郎・徳田浩史・八反田周吾・原田雄二・森田圭亮君、崇城大学の森山聡之助教授、九州大学の橋本晴行助教授、国土交通省大隅河

川国道事務所及び桜島砂防出張所、(株)アイエムティの会田和義社長、石塚浩一氏に終始ご援助を頂いた。ここに、関係各位に心から厚く謝意を表する次第です。

参考文献：

- 1) 水流彰太郎・徳田浩史・榎並利征・疋田誠：“溪谷河川における土石流シミュレーション実験”平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集[第2分冊](2004)B196-B197
- 2) 八反田周吾・橋口孝行・疋田誠・榎並利征・森山聡之・会田和義・石塚浩一：“土石流検知警報システムの開発”平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集[第2分冊](2004)B198-B199
- 3) 橋口孝行・疋田誠・森山聡之・会田和義・石塚浩一：“土石流の検知警報システムに関する研究”第23回日本自然災害学会学術講演会講演概要集(2004)135-136
- 4) 原田雄二・森田圭亮・橋口孝行・疋田誠・内田一平：“土石流検知警報システムの開発-第2報”平成16年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(2005)359-360